

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-332351
 (43)Date of publication of application : 30.11.2000

(51)Int.CI. H01S 5/125
 G02B 5/18

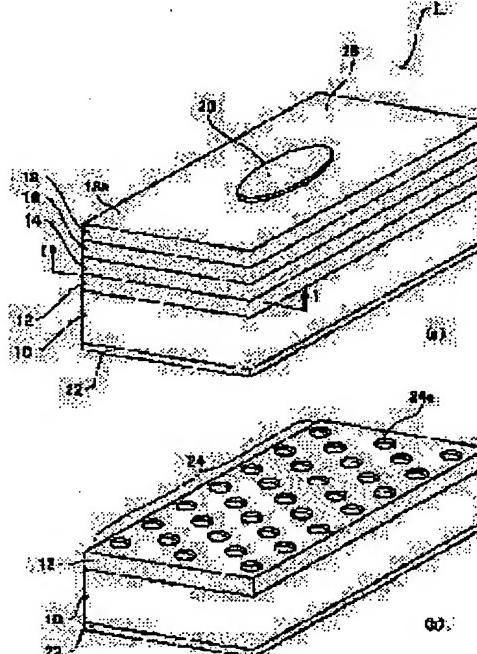
(21)Application number : 11-141793 (71)Applicant : NODA SUSUMU
 JAPAN SCIENCE &
 TECHNOLOGY CORP
 SUMITOMO ELECTRIC IND LTD
 (22)Date of filing : 21.05.1999 (72)Inventor : NODA SUSUMU
 SASAKI GORO
 MURATA MICHIO

(54) SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING DEVICE AND MANUFACTURE THEREOF

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a semiconductor light emitting device capable of surface emission in a constitution different from prior art and a method of manufacturing the same.

SOLUTION: In this semiconductor light emitting device 1, a first conductive semiconductor layer and a second conductive semiconductor layer 14, 18 are provided on a main surface of a substrate 10. An active layer 16 is provided so that carrier injection generates light and interposed between the first conductive semiconductor layer and the second conductive semiconductor layer 14, 18. A two-dimensional diffraction grating 24 is provided so as to determine the wavelength of light to be generated in the active layer 16 and extends along the direction in which the main surface of the substrate 10 extends. As a result, the light generated in the active layer 16, whose wavelength is determined by the two-dimensional diffraction grating 24, is emitted from a light emitting surface 26. The light emitting surface 26 is provided along a direction in which the two-dimensional diffraction grating 24 extends.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 06.03.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection] 14.06.2004

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

BEST AVAILABLE COPY

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision 2004-14691
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's 14.07.2004
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-332351

(P2000-332351A)

(43)公開日 平成12年11月30日 (2000.11.30)

(51)Int.Cl.⁷
H 01 S 5/125
G 02 B 5/18

識別記号

F I
H 01 S 3/18
G 02 B 5/18

テーマート(参考)
6 4 4 2 H 0 4 9
5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数10 OL (全 15 頁)

(21)出願番号 特願平11-141793

(22)出願日 平成11年5月21日(1999.5.21)

特許法第30条第1項適用申請有り 1999年1月14日 応用物理学会応用電子物性分科会発行の「応用電子物性分科会誌 第5巻 第1号」に発表

(71)出願人 599070433

野田 進
京都府宇治市五ヶ庄官有地 京都大学職員宿舎323

(71)出願人 398020800

科学技術振興事業団
埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(71)出願人 000002130

住友電気工業株式会社
大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(74)代理人 100088155

弁理士 長谷川 芳樹

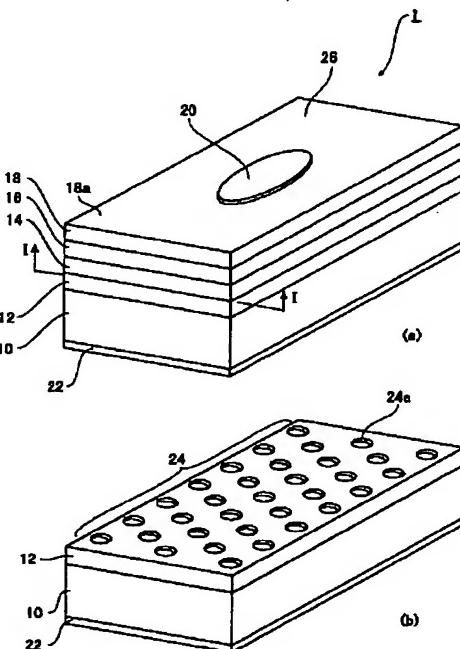
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 半導体発光デバイスおよび半導体発光デバイスの製造方法

(57)【要約】

【課題】 従来とは異なった構成の面発光が可能な半導体発光デバイス、およびこのような半導体発光デバイスの製造方法を提供することにある。

【解決手段】 半導体発光デバイス(1)では、第1導電型半導体層および第2導電型半導体層(14、18)は、基板(10)の主面上に設けられている。活性層(16)は、キャリアが注入されると光を発生するように設けられ、第1導電型半導体層および第2導電型半導体層(14、18)に挟まれている。2次元回折格子(24)は、活性層(16)において発生されるべき光の波長を規定するように設けられ、基板(10)の正面が延びる方向に沿って延びている。この結果、活性層(16)において発生された光が、光放出面(26)から放出される。光放出面(26)は、2次元回折格子(24)が延びる方向に沿って設けられる。



1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板の主面上に設けられた第1導電型半導体層と、

前記基板の主面上に設けられた第2導電型半導体層と、前記第1導電型半導体層および前記第2導電型半導体層に挟まれ、キャリアが注入されると光を発生する活性層と、

前記基板の正面が延びる方向に沿って設けられ、前記活性層において発生されるべき光の波長を規定する2次元回折格子と、

前記基板の正面が延びる方向に沿って設けられ、前記活性層において発生された光が放出される光放出面と、を備える半導体発光デバイス。

【請求項2】 前記2次元回折格子は、第1の屈折率を有する媒質内に2次元回折格子を構成するように設けられた第2の屈折率の部分を有し、

前記第1の屈折率は前記第2の屈折率よりも大きい、請求項1に記載の半導体発光デバイス。

【請求項3】 前記2次元回折格子は、三角格子および正方格子のいずれか一方である、請求項1に記載の半導体発光デバイス。

【請求項4】 前記活性層は、キャリアが注入されると光を発生する複数の発光部と、前記複数の発光部を分離するように設けられた分離部とを有する請求項1に記載の半導体発光デバイス。

【請求項5】 前記活性層において発生された光に対して透明であって、前記光放出面上に設けられ、前記活性層にキャリアを与えるための電極を更に備える、請求項1に記載の半導体発光デバイス。

【請求項6】 前記活性層を介して前記2次元回折格子と対向するように設けられた別の2次元回折格子を更に備える、請求項1に記載の半導体発光デバイス。

【請求項7】 基板の主面上に設けられた第1導電型半導体層と、

前記基板の主面上に設けられた第2導電型半導体層と、前記第1導電型半導体層と前記第2導電型半導体層との間に設けられ、キャリアが注入されると光を発生する活性層と、

前記基板の正面が延びる方向に沿って設けられ、前記活性層と光学的に結合され、フォトニックバンド構造を有するフォトニックバンド層と、

前記フォトニックバンド層が延びる方向に沿って設けられ、前記活性層において発生された光が放出される光放出面と、を備える半導体発光デバイス。

【請求項8】 第1の基板を含み第1の表面を有する第1の部品を準備する工程と、

第1導電型半導体層、活性層、および第2導電型半導体層を第2の基板の主面上に順に堆積し、前記正面が延びる方向に沿って第2の表面を有する第2の部品を形成する工程と、

2

前記第1の表面および前記第2の表面の少なくともいずれか一方に2次元回折格子を形成する格子工程と、格子工程の後に、前記第1の表面と前記第2の表面とが向き合うように前記第1の部品および前記第2の部品を接合する工程と、を備える半導体発光デバイスの製造方法。

【請求項9】 第1の基板を含み第1の表面を有する第1の部品を準備する工程と、

第1導電型半導体層、活性層、および第2導電型半導体層を第2の基板の主面上に順に堆積し、前記正面が延びる方向に沿って第2の表面を有する第2の部品を形成する工程と、

前記第1の表面および前記第2の表面の少なくともいずれか一方に2次元回折格子を形成する格子工程と、格子工程の後に、前記第1の表面と前記第2の表面とが向き合うように前記第1の部品および前記第2の部品を接合し第3の部品を形成する工程と、

前記第3の部品から前記第1の基板を第3の表面が現れるように除去し第4の部品を形成する工程と、

第3の基板を含み第4の表面を有する第5の部品を準備する工程と、

前記第3の表面および前記第4の表面のいずれか一方に2次元回折格子を形成する工程と、

前記第3の表面と前記第4の表面とが向き合うように、前記第4の部品および前記第5の部品を接合する工程と、を備える半導体発光デバイスの製造方法。

【請求項10】 前記格子工程は、

前記活性層において発生されるべき光の波長に対応したフォトニックバンド構造を形成するように規定された2次元回折格子パターンを持つマスクを前記第1の表面および前記第2の表面の少なくともいずれか一方に形成する工程と、

前記マスクを用いてエッチングし、2次元回折格子を形成する工程と、を有する請求項8または請求項9に記載の半導体発光デバイスの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、面発光が可能な半導体発光デバイス、およびこのような半導体発光デバイスの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】面発光が可能な半導体レーザとしては、D B R型半導体レーザがある。この面発光型レーザは、発光方向に沿って設けられブリッジ反射に基づく1次元回折格子を有している。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、D B R型半導体レーザは、発光方向に沿って1次元回折格子を形成するために周期構造を設ける必要がある。このような周期構造は、屈折率の異なる層を周期的になるよう

50.

繰り返し形成する必要がある。

【0004】本発明の目的は、従来とは異なった構成を有する面発光が可能な半導体発光デバイス、およびこのような半導体発光デバイスの製造方法を提供することにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】発明者は、半導体レーザに必要な構成を検討した。半導体レーザは、一般には、光を発生する活性層を備える。また、レーザ発振すべき波長を規定するためには、波長選択機能を有する部分が必要である。更に、面発光を可能にするためには、発生された光を2次元的に取り出すことが必要である。

【0006】そこで、本発明を以下のような構成とした。

【0007】本発明の半導体発光デバイスは、第1導電型半導体層と、第2導電型半導体層と、活性層と、2次元回折格子と、光放出面とを備える。

【0008】第1導電型半導体層および第2導電型半導体層は、基板の主面上に設けられている。活性層は、キャリアが注入されると光を発生するように設けられ、第1導電型半導体層および第2導電型半導体層に挟まれている。2次元回折格子は、活性層において発生されるべき光の波長を規定するように設けられ、基板の正面が延びる方向に沿って延びている。

【0009】この結果、活性層において発生され2次元回折格子によって波長が規定された光が、光放出面から放出される。この光放出面は、2次元回折格子が延びる方向に沿って設けられている。

【0010】本発明の半導体発光デバイスでは、2次元回折格子は、第1の屈折率を有する媒質内に2次元回折格子を構成するように設けられた第2の屈折率の部分を有することができる。第1の屈折率は第2の屈折率よりも大きいことが好ましい。第2の屈折率の部分は、第1の屈折率の媒質内に設けられた凹部ができる。このような2次元回折格子は、三角格子および正方格子のいずれか一方を採用することによって実現することができる。

【0011】本発明の半導体発光デバイスは、活性層を介して2次元回折格子と対向するように設けられた別の2次元回折格子を更に備えることができる。追加された2次元回折格子は、回折効率を高めることを可能にする。両方の2次元回折格子は、回折効率を高めるような周期、例えば同一の周期を有することが好ましい。これらの2次元回折格子は、活性層に関して対称に設けることができ、また非対称に設けることができる。

【0012】本発明の半導体発光デバイスは、活性層にキャリアを与えるための電極を更に備えることができる。このような電極は、光放出面上に設けられることができる。このため、活性層に対して2次元的にキャリアを与えることができる。電極の材料は、活性層において

発生された光に対して透明であることが好ましい。

【0013】本発明の半導体発光デバイスでは、活性層は、キャリアが注入されると光を発生する複数の発光部と、複数の発光部を分離するように設けられた分離部とを有することができる。このような活性層の形態は、以下に例示的に列挙される様々な構造によって実現される。2次元量子井戸構造は、複数の半導体層を積層することによって実現される。1次元量子井戸構造は、回折格子に沿って設けられた量子細線を形成することによって実現される。0次元量子井戸構造は、回折格子に沿って設けられた量子箱を形成することによって実現される。活性層の形態は、ここに列挙された構造に限定されることはない。活性層は、2次元回折格子に光を提供できるように設けられ、また光放出面に沿って設けられることが好ましい。

【0014】また、本発明の半導体発光デバイスは、第1導電型半導体層と、第2導電型半導体層と、活性層と、フォトニックバンド層と、光放出面とを備える。フォトニックバンド層はフォトニックバンド構造を有する。また、フォトニックバンド層は、活性層と光学的に結合され、基板の正面が伸びる方向に沿って設けられている。活性層において発生される光は、フォトニックバンド構造によって規定される。この結果、光放出面からは活性層において発生され、フォトニックバンド層によって波長および位相が規定された光が放出される。光発光面は、フォトニックバンド層が延びる方向に沿って設けられることができる。

【0015】本発明に係わる半導体発光デバイスの製造方法は、(1)第1の基板を含み第1の表面を有する第1の部品を準備し、(2)第1導電型半導体層、活性層、および第2導電型半導体層を第2の基板の主面上に順に堆積し、この正面が延びる方向に沿って第2の表面を有する第2の部品を形成し、(3)第1の表面および第2の表面の少なくともいずれか一方に2次元回折格子を形成する格子工程、(4)2次元回折格子を形成した後、第1の表面と第2の表面とが向き合うように第1の部品および第2の部品を接合する、それぞれの工程を備える。

【0016】接合されるべき面に2次元格子を形成した後に、この2次元格子を挟むように2部品を接合するようにした。このため、2次元格子を形成した表面上に他の層を堆積することがない。故に、他の層の形成に影響を与えることなく2次元格子が形成される。また、2次元回折格子の形成面が接合されるので、他の層の形成から影響を受けることはない。

【0017】また、本発明に係わる半導体発光デバイスの製造方法は、(5)第1の基板および第2の基板の少なくとも一方を除去し光放出面を形成する工程を更に備えることができる。基板の一方を除去すれば、光が発生される活性層から光放出面までの距離が縮小される。

【0018】本発明に係わる半導体発光デバイスの製造

方法は、(6)第1の基板を含み第1の表面を有する第1の部品を準備し、(7)第1導電型半導体層、活性層、および第2導電型半導体層を第2の基板の主面上に順に堆積し、この正面が延びる方向に沿って第2の表面を有する第2の部品を形成し、(8)第1の表面および第2の表面の少なくともいずれか一方に2次元回折格子を形成し、(9)2次元回折格子の形成後に、第1の表面と第2の表面とが向き合うように第1の部品および第2の部品を接合し第3の部品を形成し、(10)第3の部品から第1の基板を第3の表面が現れるように除去し第4の部品を形成し、(11)第3の基板を含み第4の表面を有する第5の部品を準備し、(12)第3の表面および第4の表面のいずれか一方で形成された別の2次元回折格子を形成し、(13)第3の表面と第4の表面とが向き合うように、第4の部品および第5の部品を接合する、それぞれの工程を備える。

【0019】このように、作り込むべき2次元回折格子を張り合わせ面に形成すれば、2次元回折格子を必要な数だけ積層することができる。

【0020】また、本発明に係わる半導体発光デバイスの製造方法は、(14)接合された第4の部品および第5の部品から、第1の基板および第3の基板のいずれかを除去し、光放出面を形成する工程を更に備えることができる。

【0021】本発明に係わる半導体発光デバイスの製造方法では、2次元回折格子を形成する工程は、(15)活性層において発生されるべき光の波長に対応したフォトニックバンド構造を形成するように規定された2次元回折格子パターンを持つマスクを第1の表面および第2の表面の少なくともいずれか一方で形成する工程、(16)マスクを用いてエッチングし、2次元回折格子を形成する工程、を有することができる。

【0022】また、本発明に係わる半導体発光デバイスの製造方法では、2次元回折格子を形成する工程は、(17)活性層において発生されるべき光の波長に対応したフォトニックバンド構造を形成するように規定された2次元回折格子パターンを持つマスクを第3の表面および第4の表面のいずれか一方で2次元回折格子を形成し、(18)マスクを用いてエッチングし、2次元回折格子を形成する、それぞれの工程を有することができる。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態を詳細に説明する。同一および類似の部分には、同一の符号を付して重複する説明を省略する。

【0024】図1(a)は、本発明の実施の形態に係わる半導体発光デバイスの斜視図であり、図1(b)は、図1(a)のI-I断面における断面図である。

【0025】半導体発光デバイス1は、基板10、第1の閉じ込め層12、第2の閉じ込め層14、活性層16、第3の閉じ込め層18、および2次元回折格子24

を備える。基板10としては、所定の面方位、例えば(001)のN型InPの半導体基板を採用することができ。第1の閉じ込め層12および第2の閉じ込め層14としては、N型InPの半導体層を採用することができる。第3の閉じ込め層18としては、P型InPの半導体層を採用することができる。第1の閉じ込め層12、第2の閉じ込め層14および第3の閉じ込め層18は、基板10の主面上にこの順序で積層されている。

【0026】第3の閉じ込め層18の表面18a上には、円形状のアノード電極20が設けられている。このため、全方向に均一な発光が可能になる。アノード電極20が形成されていない表面18aの部分は、光放出領域として機能する。基板10の正面に対向する裏面上には、カソード電極22が一面に設けられている。これらの電極20、22は、金(Au)系電極を用いることができる。この材料に限られるものではなく、活性層16で発生される光の波長に透明な導電性の材料を用いることができる。

【0027】第2の閉じ込め層14および第3の閉じ込め層18は、活性層に与えられるべきキャリアが伝導する導電層として機能する。このため、これらの閉じ込め層14、18は、活性層を挟むように設けられている。また、第2の閉じ込め層14および第3の閉じ込め層18は、共に、活性層16にキャリア(電子および正孔)を閉じ込めるように設けることができる。つまり、第2の閉じ込め層14、活性層16、および第3の閉じ込め層18は、ダブルヘテロ接合を形成するように設けることができる。このため、発光に寄与するキャリアを活性層16に集中させることができる。

【0028】活性層16は、キャリアが注入されると光を発生する。発生される光の波長は、活性層16が備える半導体層のバンドギャップによって規定される。活性層16は、単一の半導体材料を用いて形成されることができる。また、活性層16は、单一または多重量子井戸構造を形成するように設けることもできる。さらに、活性層16は、2次元回折格子24に沿って設けられ所定の方向に伸びる複数の量子細線として形成されることができ、また、2次元回折格子24に沿って設けられ複数の量子箱として形成されることができる。各量子細線は、その長手方向と直交する2方向に関して電子のエネルギー準位が離散的になるような寸法(例えば、数十nm程度)を有する。各量子箱は、互いに直交する3方向に関して電子のエネルギー準位が離散的になるような寸法(例えば、数十nm程度)を有する。このような量子構造を備えると状態密度が大きくなるので、発光効率が高められると共に、発光スペクトルが先鋭化される。

【0029】本実施の形態では、InGaAs/InGaAsP系半導体を採用して、発光波長が1.3ミクロメートル帯の無多重量子井戸構造(Separate Confinement Heterostructure Multiple Quantum Well: SCH-M

(d) 7周期を有機金属気相エピタキシによって成長した。しかしながら、歪超格子構造の活性層を採用するともできる。

【0030】第1の閉じ込め層12上には、2次元回折格子24が設けられている。2次元回折格子24は、第1の閉じ込め層12の一表面に複数の凹部24aが3角格子を形成するように設けられている。各凹部24aは、柱状(例えば、円柱形状)の空間部として設けられている。各凹部24aの中心と、これと最も近い隣接の6個の凹部24aの中心との距離は等しい値であり、本実施の形態では、凹部の中心の間隔は0.426ミクロンメートル、凹部の深さは0.1ミクロンメートルにとられた。適用できる格子としては、他に正方格子がある。

【0031】第1の閉じ込め層12は第1の屈折率を有し、周期的に形成された空間部は第2の屈折率を有する。空間部には、第1の閉じ込め層12と異なる物質を埋め込むことが可能である。しかしながら、第1の屈折率と第2の屈折率との差を大きくとるためには、空間部は何も埋め込まない状態(気体、例えば空気が存在する状態、より厳密には、後に説明する接合工程における雰囲気に含まれる気体が存在する状態)であることが好ましい。このように屈折率を大きくとると、第1の屈折率の媒質内に光を閉じ込めることができる。

【0032】第1の閉じ込め層12の材料、つまり高屈折率の誘電体材料としては、III-V族化合物半導体、例えば、InP、InGaAsP、GaAs、InGaAs等、または有機材料、例えば8-キノリノールAl錯体(A1q,)等を用いることができる。また、空間部を埋め込む材料、つまり低屈折率の誘電体材料としては、シリコン窒化膜(SiNx)等を用いることができる。

【0033】2次元回折格子24は、第1の方向と、この方向と所定の角度をなす第2の方向とに対して、等しい周期(格子定数に対応する値)を有する回折格子である。2次元回折格子24には、上記の2方向およびそれらの方向の周期に関して様々な選択が可能である。これについては、後ほど説明する。

【0034】活性層16において発生された光が2次元回折格子24に到達すると、2次元回折格子24が有する所定の周期にこの光の波長が一致する場合には、その周期に対応する波長において光の位相条件が規定される。2次元回折格子24によって位相が規定された光は、活性層16に伝搬し、活性層16において誘導放出を促す。誘導放出された光は、2次元回折格子24において規定される光の波長および位相条件を満足する。この光は再び2次元回折格子24へ伝搬する。このようにして、波長及び位相条件の揃った光が発生され増幅されていく。

【0035】このような現象は、活性層16および2次元回折格子24が2次元的に広がりをもって形成されているので、アノード電極20を中心とした領域にお

いて生じうる。波長および位相条件の揃った光は、活性層16または2次元回折格子24に垂直な方向に向けて伝搬し光放出面26から放出される。

【0036】本実施の形態において実現された半導体発光デバイスの各部分の寸法を例示的に以下に列挙すると、

基板10	: 100 μm
第1の閉じ込め層12	: 0.1 μm
第2の閉じ込め層14	: 0.1 μm
活性層16	: 0.1 μm
第3の閉じ込め層18	: 0.1 μm

となる。

【0037】続いて、2次元回折格子について具体例を掲げながら説明する。2次元回折格子は、少なくとも2方向に同一の周期で並進させたときに重なり合うような性質を有する。このような2次元格子は、正三角形、正方形、正六角形を一面に敷き詰めて配置し、その各頂点に格子点を設けることによって形成される。ここでは、正三角形を用いて形成される格子を3角格子、正方形を用いて形成される格子を正方格子、正六角形を用いて形成される格子を六角格子とそれぞれ呼ぶ。

【0038】図2は、2次元回折格子として、格子間隔がaである3角格子を描いた図面である。3角格子は、一边の長さがaである正三角形によって埋め尽くされている。図2において、任意に選択された格子点Aに着目し、格子点Aから格子点Bに向かう方向をX-T方向と呼び、また格子点Aから格子点Cへ向かう方向をX-J方向と呼ぶ。本実施の形態では、活性層において発生される光の波長がX-T方向に関する格子周期に対応している場合について説明する。

【0039】2次元回折格子24は、以下に説明する3個の1次元回折格子群L、M、Nを含むと考えることができる。1次元回折格子群Lは、Y軸方向に向けて設けられた1次元格子L₁、L₂、L₃等から成る。1次元回折格子群Mは、X軸方向に対して120度の角度を方向に向けて設けられた1次元格子M₁、M₂、M₃等から成る。1次元回折格子群Nは、X軸方向に対して60度の方向に向けて設けられた1次元格子N₁、N₂、N₃等から成る。3格子群は、任意の格子点を中心にして120度の角度で回転すると重なりあう。各格子群において、1次元格子間の間隔はdであり、1次元格子内の間隔はaである。

【0040】まず、格子群Lに関して考える。格子点Aから格子点Bの方向に進む光は、格子点Bにおいて回折現象を生じる。回折方向は、ブレッカ条件 $2d \cdot \sin \theta = m\lambda$ ($m = 0, \pm 1, \dots$)によって規定され、ここで、λは第1の閉じ込め層内における光の波長である。2次のブレッカ反射($m = \pm 2$)を満足するように回折格子が形成されている場合には、 $\theta = \pm 60^\circ, \pm 120^\circ$ の角度に別の格子点D、E、F、Gが存在する。ま

た、 $m=0$ に対応する角度 $\theta=0, 180^\circ$ にも格子点A, Gが存在する。

【0041】格子点Bにおいて、例えば格子点Dの方向に向けて回折された光は、格子点Dにおいて格子群Mに従って回折される。この回折は、格子群Lに従う回折現象と同様に考えることができる。次いで、格子点Dにおいて格子点Hに向けて回折される光は、格子群Nに従って回折される。このようにして順次、格子点H、格子点I、格子点Jと回折されていく。格子点Jから格子点Aに向けて回折される光は、格子群Nに従って回折される。

【0042】以上、説明したように、格子点Aから格子点Bに進む光は、複数回の回折を経て、最初の格子点Aに到達する。このため、半導体発光デバイス1は、従来の半導体レーザのように2つの光反射面から成る光共振器を備えていないけれども、ある方向に進む光が複数回の回折を介して元の格子点の位置に戻ることは、2次元回折格子24が光共振器、つまり波長選択器および反射器、として作用することを示している。

【0043】さらに、2次元回折格子24では、上記の説明が任意の格子点Aにおいて行われたことを考慮すると、上記のような光の回折は、2次元的に配置されたすべての格子点において生じ得る。このため、各X-Γ方向に伝搬する光が、ブリッジ回折によって2次元的に相互に結合していると考えられる。2次元回折格子24では、この2次元的結合によって3つのX-Γ方向が結合しあってコヒーレントな状態が形成されると考えられる。

【0044】図3は、図2に示された3角格子が有する逆格子空間を示した図面である。逆格子空間におけるブリリアンゾーンの中心Γ点、このΓ点と隣接ブリリアンゾーンのΓ点とを結んだ直線がブリリアンゾーンの境界と交差するX点、互いに隣接する3ブリリアンゾーンが一点において接するJ点が示されている。図3におけるΓ点、X点、J点から規定される方向は、図2に説明において参照したΓ-X方向およびΓ-J方向に対応する。

【0045】図4(a)は、図2に示された2次元3角格子について、平面波展開法を用いてバンド計算を行った結果を示したフォトニックバンド図であり、特にTEモードに対する計算結果である。図4(b)は、図4(a)におけるΓ点近傍における拡大図である。

【0046】図1の第1の閉じ込め層12は、図4(a)に示された分散関係、つまりフォトニックバンド構造を有する。本明細書において、フォトニックバンド構造とは、媒質内に設けられた少なくとも2次元の周期的な屈折率分布に基づき光子のエネルギーに対して規定された分散関係をいう。

【0047】本実施の形態における活性層の自然放出光は、図4(a)の縦軸(周波数)の0, 35付近に相当す

る。活性層の自然発光帯をΓ点の近傍と合わせるようにされている。レーザ発振は、光の群速度が零になり大きな状態密度を持つバンド端において起こると考えられる。図4(b)を参照すると、バンド端は、Γ点またはΓ点の近傍に存在するので、レーザ発振はΓ-X方向を基本に起こると考えることができる。

【0048】図5は、2次元回折格子として、格子間隔がbである正方格子を描いた図面である。正方格子は、一辺の長さがbである正方形で埋め尽くされている。図5において、任意に選択された格子点Wに着目し、格子点Wから格子点Pに向かう方向をX-Γ方向と呼び、また格子点Wから格子点Qへ向かう方向X-J方向と呼ぶ。ここでは、活性層において発生される光の波長は、X-Γ方向に関する格子周期に対応している場合について説明する。

【0049】2次元回折格子25は、以下に説明する2個の1次元回折格子群U, Vを含むことができる。1次元回折格子群Uは、Y軸方向に向けて設けられた1次元格子U₁, U₂, U₃等から成る。1次元回折格子群Vは、X軸方向に向けて設けられた1次元格子V₁, V₂, V₃等から成る。2格子群は、任意の格子点を中心 90° の角度で回転すると重なりあう。各格子群において、1次元格子間の間隔はbであり、1次元格子内の間隔はbである。まず、格子群Uに関して考える。格子点Wから格子点Pの方向に進む光は、格子点Pにおいて回折現象を生じる。回折方向は、3角格子の場合と同様に、ブリッジ条件 $2d \cdot \sin\theta = m\lambda$ ($m=0, \pm 1, \dots$)によって規定される。2次のブリッジ反射($m=\pm 2$)を満足するように回折格子が形成されている場合には、 $\theta=\pm 90^\circ$ の角度に別の格子点Q, Rが存在し、 $m=0$ に対応する角度 $\theta=0, 180^\circ$ にも格子点W, Sが存在する。

【0050】格子点Pにおいて格子点Qの方向に向けて回折された光は、格子点Qにおいて格子群Vに従って回折される。この回折は、格子群Uに従う回折現象と同様に考えることができる。次いで、格子点Qにおいて格子点Tに向けて回折される光は、格子群Uに従って回折される。このようにして順次に回折されていく。格子点Tから格子点Wに向けて回折される光は、格子群Vに従って回折される。

【0051】以上、説明したように、格子点Wから格子点Pに進む光は、複数回の回折を経て、最初の格子点Wに到達する。このため、半導体発光デバイス1は従来の半導体レーザのように2つの光反射面から成る光共振器を備えていないけれども、ある方向に進む光が複数回の回折を介して元の格子点の位置に戻ることは、2次元回折格子25が光共振器、つまり波長選択器および反射器、として作用することを示している。この反射器によって位相整合が達成される。

【0052】さらに、2次元回折格子25では、上記の

説明が任意の格子点Wにおいて行われたことを考慮すると、2次元的に配置されたすべての格子点において生じ得る。このため、各X-Γ方向に伝搬する光が、2次元的なブレーキング回折によって相互に結合していると考えられる。2次元回折格子25では、この2次元的結合によってX-Γ方向が結合し合ってコヒーレントな状態が形成されると考えられる。

【0053】2次元回折格子は、レーザ発振光の單一モード化を実現するために、位相シフト構造を備えることができる。図6および図7は、図5に示された正方格子に対して位相シフト構造を適用した図面である。図示の回折格子は、同一周期の格子を複数含み、それらは互いに周期の半分だけシフトされた状態で配置されている。【0054】図6を参照すると、X軸方向に沿って周期dのV_a格子群およびV_b格子群が設けられている。V_a格子は1次元回折格子V_{a1}、V_{a2}、V_{a3}、V_{a4}を備え、V_b格子は1次元回折格子V_{b1}、V_{b2}、V_{b3}、V_{b4}を備える。V_a格子およびV_b格子は、1次元格子V_{a1}とV_{b1}との間の間隔がd/2となるように配置されている。Y軸方向に沿って周期dのU_a格子群およびU_b格子群が設けられている。U_a格子は1次元回折格子U_{a1}、U_{a2}、U_{a3}、U_{a4}を備え、U_b格子は1次元回折格子U_{b1}、U_{b2}、U_{b3}、U_{b4}を備える。U_a格子およびU_b格子は、1次元格子U_{a1}とU_{b1}との間の間隔がd/2となるように配置されている。

【0055】図7を参照すると、X軸方向に沿って周期dのV_c格子群およびV_d格子群が設けられている。V_c格子は1次元回折格子V_{c1}、V_{c2}、V_{c3}を備え、V_d格子は1次元回折格子V_{d1}、V_{d2}、V_{d3}を備える。V_c格子およびV_d格子は、1次元格子V_{c1}とV_{d1}との間の間隔が3d/2となるように配置されている。Y軸方向に沿って周期dのU_c格子群およびU_d格子群が設けられている。U_c格子は1次元回折格子U_{c1}、U_{c2}、U_{c3}、U_{c4}を備え、U_d格子は1次元回折格子U_{d1}、U_{d2}、U_{d3}、U_{d4}を備える。U_c格子およびU_d格子は、1次元格子U_{c1}とU_{d1}との間の間隔が3d/2となるように配置されている。

【0056】図6および図7に示された位相シフト構造以外にも、U格子とV格子が部分的に重複して設けられるような位相シフト構造も適用できる。また、2次元格子内の任意の格子点の1個又は複数個を除去すること、つまり格子欠陥点を導入することによっても位相シフト構造を実現できる。

【0057】引き続いて、本発明に係わる半導体発光デバイスの製造方法に関して説明する。以下、InP基板上に3角格子を有する面発光可能な半導体レーザを製造する工程を順に説明するが、適用される半導体材料等は例示的にであり、本発明はこれに限られるものはない。

【0058】2次元回折格子は、例えば以下のように作製される。面方位(001)を有する第1のN型InP半導

体基板(以下、第1の基板という)10を準備する。第1の基板10の主面上に、有機金属気相エピタキシ(MOVPE)法を用いてN型InP半導体層12を成長する。図8は、第1の基板10上にN型InP半導体層12が形成された後の工程を示す斜視図である。

【0059】N型InP半導体層12の表面に2次元回折格子をフォトリソグラフィック法およびエッティング法を用いて形成する。図9は、2次元回折格子が形成された後の工程を示す斜視図である。

【0060】半導体層12の表面12aに感光剤を塗布する。この感光剤上に、電子ビーム描画装置(例えば、ELIONIX ELS-3700)を用いて、回折格子パターンを描画する(描画工程)。この後、感光剤を現像すると、回折格子パターンが形成されたエッティングマスクが完成する。このマスクが有する回折格子パターンは、引き続くエッティング工程においてエッティングされるべき半導体層12の表面12a(以下、第1の表面ともいう)に所定形状の複数の開口を有している。

【0061】エッティングマスクを用いて、半導体層12の所定部分に凹部を形成する(エッティング工程)。エッティングは、反応性イオンエッティング装置(例えば、SACOM RIE-10N)を用いて行う。マスクの開口部の半導体層12は、エッティングによって除去され、所定の深さの凹部が形成される。図9は、2次元回折格子24が第1の表面12aに形成された第1の部品28の斜視図である。図9においては、2次元回折格子24として、周期的に配列された複数の略円形の断面の凹部24aを有している。各凹部は、凹部24aの配列が回折格子として機能し得る程度の深さ、例えば0.1μm程度、に形成されている。

【0062】次に、面方位(001)を有する第2のP型InP半導体基板(以下、第2の基板という)30を準備する。第2の基板30の主面上に、有機金属気相エピタキシ(MOVPE)法を用いてP型InP半導体層18を成長する。

【0063】次いで、P型InP半導体層18上にアンドープ活性層16を成長する。本実施の形態では、MOVPE法を用いて、InGaAs/InGaAsPのMQW構造を有するように活性層16を形成する。この活性層によって、1.3μm帯の光が発生可能になる。さらに、このようなMQW構造の両側に、MQW構造部にキャリアを閉じ込めるための分離閉じ込めヘテロ構造層(separate confinement heterostructure)を形成することもできる。これによって、2次元的に広がる活性層にキャリアを効率的に閉じ込めることができる。

【0064】この後に、活性層14上にMOVPE法を用いてN型InP半導体層14を成長する。なお、本実施の形態では、第1の部品28のN型InP半導体層12の表層に2次元回折格子24を形成したけれど、この2次元回折格子24に代えて、またはこの2次元回折格

子24と共に、N型InP半導体層14の表面(以下、第2の表面ともいいう14a)の表層に2次元回折格子を形成することもできる。

【0065】これによって第2の部品32が完成する。図10は、第2の部品32の斜視図である。第2の部品32は、第2の基板30の主面上に順次形成されたP型InP半導体層18、アンドープ活性層16、およびN型InP半導体層14を備える。最後に形成された半導体層14の表面14aが露出している。

【0066】次いで、第1の部品28と、第2の部品32とを接合する。この接合工程では、第1の表面12aと第2の表面14aとが向き合うように第1の部品28および第2の部品32を接合する。この接合は、本実施の形態では、融着によって行う(融着工程)。

【0067】接合されるべき第1の表面12aおよび第2の表面14aを清浄にするために、第1の部品28および第2の部品32を化学的に処理し、付着した汚染物、形成された自然酸化膜等を除去する。この化学的な処理は、第1の部品28および第2の部品32を処理溶液、例えばバッファフッ化水素酸溶液($\text{NH}_4\text{F} : \text{HF} = 1 : 6$)にさらすことによって行なわれる。

【0068】引き続いて、図11に示すように、第1の表面12aと第2の表面14aとを向き合わせて、第1の部品28および第2の部品32を重ね合わせる。第1の部品28と第2の部品32との間には、上記表面12a、14aが十分に密着するように所定の圧力(荷重)を加える。この状態で、十分な融着が達成されるような温度に所定の時間さらす。

【0069】このような融着条件を例示的に示せば、還元性雰囲気、例えば H_2 雰囲気中において、

温度: 620°C

時間: 30分

荷重: 1.7 N/cm²

である。また、このような熱処理には、不活性ガス雰囲気、例えば N_2 、Ar、He等の少なくともいずれかを含む雰囲気も適用できる。この熱処理によって、第1の部品28と第2の部品32との融着が達成された。図12の斜視図は、第1の部品28と第2の部品32とが融着されることによって形成された第3の部品34を示す。

【0070】第3の部品34において、第1の基板10および第2の基板30の少なくとも一方を除去することができる(除去工程)。活性層16からの光を放出するための光放出面を形成するために基板の一方を除去することができる。このような基板の除去は、選択エッチング条件によって行うことができる。本実施の形態において第2の基板30に適用した選択エッチングを例示すれば、塩酸(HCl)および水を含む混合溶液、いわゆる塩酸系のエッチャントを用いてウェットエッチングする方法がある。エッチングによって基板を除去すれば、活性層

16から光放出面26までの距離が短縮される。

【0071】図13の斜視図は、第2の基板30が除去されることによって形成された第4の部品36を示す。第4の部品36は、第2の基板30が除去されることによってP型InP半導体層18の一表面(第3の表面ともいいう)18aが露出される。図13においても部分的に示されているように、第4の部品36は、2次元回折格子24が層間に埋め込まれた構造を有する。2次元回折格子24を構成する空間24aは、半導体層12と半導体層14によってその周囲を囲まれている。

【0072】第4の部品36の第3の表面18aにアノード電極(図1の20)を形成すると共に、第1の基板10の裏面10aにカソード電極(図1の22)を形成すると、本発明に係わる半導体発光デバイスの主要な工程が完了する。これによって、図1に示された半導体発光デバイス1が得られる。

【0073】本発明に係わる半導体発光デバイスは、複数の2次元回折格子24、44を備えることができる。これらの2次元回折格子24、44は、活性層10を挟んで設けられることが好ましい。これによって、回折効率を高めることができる。2つの2次元回折格子は、それぞれの格子の格子点が活性層を挟んで対象になるように設けられることができ、また、周期の半分に相当する距離だけシフトさせて設けられることができ、非対称にも配置されることができる。以下、複数の回折格子を有する半導体発光デバイスの製造方法について説明する。

【0074】図14は、第4の部品36および第5の部品38とを接合する工程を示す斜視図である。この接合工程では、まず、第4の部品36および第5の部品38を準備する。第4の部品の形成方法は既に説明したので、第5の部品38の形成方法について説明する。第5の部品38は、第1の部品28と類似の構造を有する。つまり、第5の部品38は、P型InP半導体基板(以下、第3の基板ともいいう)40上に形成されたP型InP半導体層42を有する。P型InP半導体層42の表面(第4の表面ともいいう)42aには、2次元回折格子44が形成されている。2次元回折格子42は、P型InP半導体層42の表層に形成された複数の凹部42aを有する。複数の凹部42aは、2次元回折格子を形成するように配置されている。第5の部品38はこのような構造を有するので、第1の部品28と同様の工程を経て形成されることができる。なお、2次元回折格子42を第5の部品38に形成する場合について説明したが、この2次元回折格子44に代えて、またはこの2次元回折格子と共に、第4の部品36の第3の表面18aに2次元回折格子を形成することもできる。

【0075】続いて、第3の表面18aと第4の表面42aとが向き合うように、第4の部品36および第5の部品38を接合する。この接合工程は、既に説明した第1の部品28と第2の部品32との融着と同様に行なうこ

とができるので、融着工程の詳細については省略する。しかしながら、第4の部品36と第5の部品38との接合は、この条件に限られることなく別個の手順および条件を適用できる。図15に示されるように、第4の部品36と第5の部品38とを接合することによって、第6の部品46が得られる。

【0076】また、本発明に係わる半導体発光デバイスの製造方法では、第6の部品46から、第1の基板10および第3の基板38のいずれかを除去することができる。本実施の形態では、第1の基板10を除去する。この除去工程についても、既に説明した除去工程を適用することができるので、更に詳細な説明は省略する。しかしながら、第6の部品46を除去する手順および条件は、この条件に限られることなく別個の手順および条件を適用できる。

【0077】図16の斜視図は、第1の基板10が除去されることによって形成された第7の部品48を示す。第7の部品48は、第1の基板10が除去されることによってP型InP半導体層12の一表面(第5の表面ともいう)12bが露出される。図16においても部分的に示されているように、第7の部品48は、2次元回折格子24が半導体層12と半導体層14との間に埋め込まれ、また、2次元回折格子44が半導体層18と半導体層40との間に埋め込まれた構造を有する。2次元回折格子24を構成する空間24aは、半導体層12と半導体層14によってその周囲を囲まれている。2次元回折格子44を構成する空間44aは、半導体層18と半導体層40によってその周囲を囲まれている。

【0078】第7の部品48の第5の表面12bにカソード電極(図1の22に相当する電極)を形成すると共に、第4の基板38の裏面38aにアノード電極(図1の20に相当する電極)を形成すると、本発明に係わる別の実施の形態の半導体発光デバイスの主要な工程が完了した。

【0079】また、このような半導体発光デバイスは、第5の表面12bおよび第4の基板38の裏面38aの少なくともいずれかの面から光を取り出すことが可能である。したがって、本発明に係わる半導体発光デバイスを搭載部材、例えばリードフレーム、チップキャリア、プリント基板等に搭載する際にも、上記の面12bおよび面38aのいずれかを搭載部材に對面させて配置することができる。このため、搭載部材を放熱経路として効果的に利用できる。このとき、半導体発光デバイスは、搭載部材の搭載面に対してこのデバイスの光軸が所定の角度、例えば90°をなすように配置される。

【0080】いくつかの製造工程によって作製される半導体発光デバイスを示したけれども、本発明は、説明された構造以外にも、活性層16を挟んで設けられた複数の2次元回折格子24、44の内の方、例えば、2次元回折格子44のみを有するような構造を採用すること

もできる。

【0081】説明したような構造を有する半導体発光デバイスの発光特性を測定した。

【0082】図17(a)は、実施の形態の構造を有する半導体発光デバイス電流-出力パワー特性を示す特性図であり、図17(b)は、図17(a)の矢印の位置における発振スペクトルである。この半導体発光デバイスは、3角格子構造を有する半導体発光デバイスがレーザ発振することを確認するために作製された。このため、光放出面には、プロードエリア型電極(例えば200μm幅で長手方向に延びた矩形電極)と、この周囲に面発光領域とを有する。3角格子は、デバイス全面に形成されている。

【0083】室温、周期1ms、パルス幅500nsの条件において測定した結果、電流密度J_{th}=3.9kA/cm²の発振しきい値電流を得ることができた。この電流密度以下では、発光ダイオード(LED)として動作している。レーザ発振スペクトルは、図17(b)に示されるように単一波長である。この波長は、三角格子によって規定されている。また、近視野像は、3角格子の対称性を反映した発振パターンを有する。近視野像に基づけば、レーザ発振は、Γ-X方向に平行な方向に起こっている。注入電流を増加していくと、Γ-J方向にも発光領域が広がっていく傾向にある。故に、大面積でレーザ発振していることが分かる。

【0084】図18(a)は、実施の形態の構造を有する半導体発光デバイス電流-出力パワー特性を示す特性図であり、図18(b)は、発振しきい値電流密度I_{th}の1.61倍の電流密度における発振スペクトルである。この半導体発光デバイスは、全方向に均一なレーザ発振を目的としているので、光放出面の中央に直径350μmを有する円形の電極を設けた。3角格子は、デバイス全面に形成されている。

【0085】室温、周期1ms、パルス幅500nsの条件において測定した結果、電流密度J_{th}=3.3kA/cm²の発振しきい値電流を得ることができた。この電流密度以下では、発光ダイオード(LED)として動作している。レーザ発振スペクトルは、図18(b)に示されるように2モードで動作していることが確認され、発振波長の間隔は△λ=28オングストロームであり、これは、図4(b)に示されたバンド端の間隔(A-B間)に良く一致している。各モードは、それぞれ波長の異なるバンド端に対応している可能性がある。

【0086】また、近視野像は、全面において発振がおこっていることを示している。遠視野像は、出射角1.8°と非常に狭く、ほぼ円形のビーム形状を示している。これらの結果は、2次元フォトニックバンド構造における2次元的な光の結合によって、大面積且つコヒーレントな発振が面内でおこっていることを示していると考えられる。

17

【0087】以上、データを示しながら説明したように、本発明によれば面発光可能な発光デバイスを提供できることが明らかになった。

【0088】上記のフォトニックバンド構造には、(1)制御対象の光と同程度の微細加工を必要とする、(2)光をより効率的に制御するために空気と半導体のような大きな屈折率変化を持つ周期構造が必要とされる、(3)2次元または3次元のような高次元の発光を制御するためには同じ次元の周期構造を形成する必要がある、といった要求がある。半導体レーザの部分的な構造を有する部品に対してウエハ融着法を適用すると、このような要求を満たす2次元回折格子が内蔵された発光デバイスを容易に作製することができる。したがって、フォトニックバンド構造を内蔵した発光デバイスを形成可能になる。

【0089】また、本発明の実施の形態では、半導体内部に2次元・3次元構造を形成できる方法として、ウエハ融着法を用いるようにした。この方法によって、2次元フォトニックバンド構造内蔵面発光型発光ダイオード(LED)と共に、2次元フォトニックバンド構造内蔵の面発光レーザを作製した。さらに円形の電流注入領域を形成したデバイスを作製すると、全面でのレーザ発振を確認でき、遠視野像において 1.8° という非常に狭い出射角を得ることができた。この結果は、2次元フォトニックバンド構造に基づく2次元的な光の結合による大面積・コヒーレントな発振が起った結果と考えられる。フォトニックバンド構造を内蔵することは、面発光レーザに適していると考えられる。また、ウエハ融着法は、空気／半導体2次元回折格子(発光されるべき光に対して透明な導波層内または半導体層内に周期的に設けられた空間に基づく2次元回折格子)を形成する方法として好適であることが示された。

【0090】

【発明の効果】本発明の半導体発光デバイスによれば、2次元回折格子が、活性層において発生されるべき光の波長を規定するように設けられている。このため、活性層において発生された光は、2次元回折格子によって2次元的に結合され光放出面から放出される。したがって、面発光が可能な半導体発光デバイスが提供された。

【0091】また、本発明の半導体発光デバイスの製造方法によれば、基板を含む一方の部品の接合面上に2次元格子を形成した後に、この部品と他方の部品とを接合するようにした。したがって、面発光が可能な半導体発光デバイスの製造方法が提供された。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1(a)は、本発明に係わる半導体発光デバイスの斜視図であり、図1(b)は、図1(a)のI-I断面における断面図である。

【図2】図2は、2次元回折格子として、格子間隔がa

18

である3角格子を描いた図面である。

【図3】図3は、図2に示された3角格子が有する逆格子空間を示した図面である。

【図4】図4(a)は、図2に示された2次元3角格子についてバンド計算を行った結果を示したフォトニックバンド図であり、図4(b)は、図4(a)におけるΓ点近傍における拡大図である。

【図5】図5は、2次元回折格子として、格子間隔がbである正方格子を描いた図面である。

【図6】図6は、図5に示された正方格子に対して適用した位相シフト構造を適用した図面である。

【図7】図7は、図5に示された正方格子に対して適用した位相シフト構造を適用した図面である。

【図8】図8は、第1の基板上にN型InP半導体層が形成された後の工程を示す斜視図である。

【図9】図9は、2次元回折格子が形成された後の工程を示す斜視図である。

【図10】図10は、第2の部品の斜視図である。

【図11】図11は、第1の表面と第2の表面とが向き合わせて、第1の部品と第2の部品とを接合する工程を示す斜視図である。

【図12】図12は、第1の部品と第2の部品とが接合されることによって形成された第3の部品を示す斜視図である。

【図13】図13は、第2の基板が除去されることによって形成された第4の部品を示す斜視図である。

【図14】図14は、第4の部品および第5の部品を接合する工程を示す斜視図である。

【図15】図15は、第4の部品と第5の部品とを接合し第6の部品を形成する工程の斜視図である。

【図16】図16は、第1の基板が除去し、第7の部品を形成する工程を示す斜視図である。

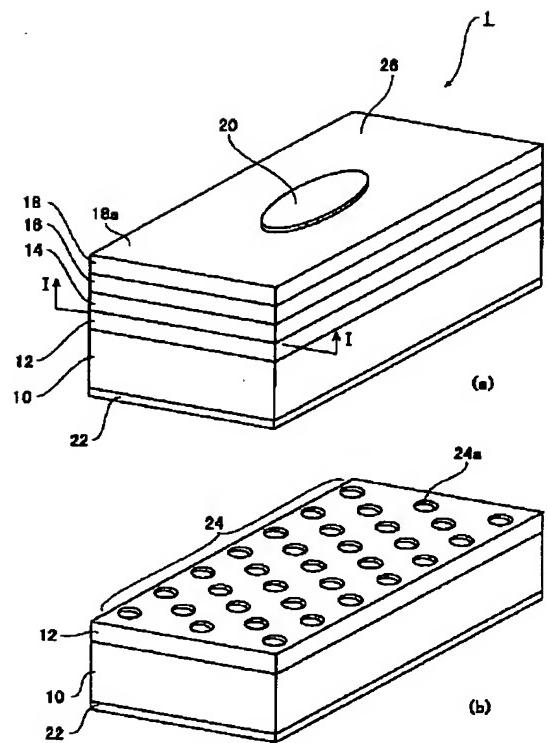
【図17】図17(a)は、実施の形態の構造を有する半導体発光デバイスの電流-発振パワー特性を示す特性図であり、図17(b)は、そのようなデバイスの発振スペクトルである。

【図18】図18(a)は、実施の形態の構造を有する半導体発光デバイスの電流-発振パワー特性を示す特性図であり、図18(b)は、そのようなデバイスの発振スペクトルである。

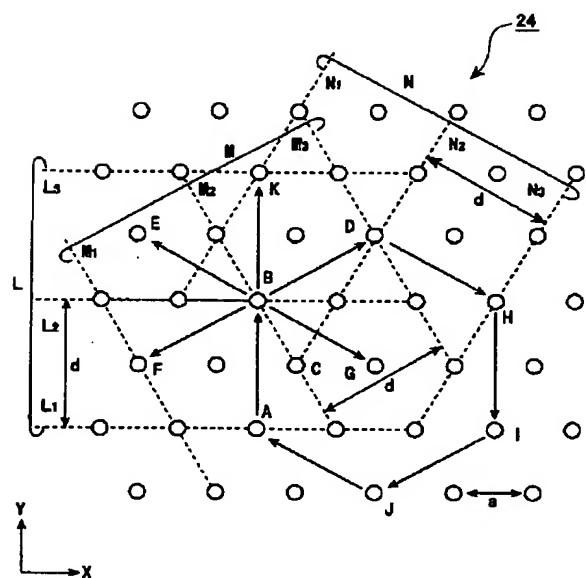
【符号の説明】

1…半導体発光デバイス、10…基板、12…第1の閉じ込め層、14…第2の閉じ込め層、16…活性層、18…第3の閉じ込め層、20…アノード電極、22…カソード電極、24、25、44…2次元回折格子、28…第1の部品、30…第2の基板、32…第2の部品、34…第3の部品、36…第4の部品、38…第5の部品、46…第6の部品、48…第7の部品、

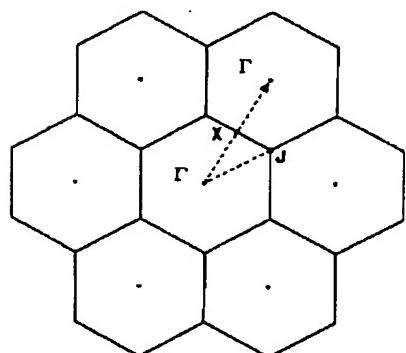
【図1】



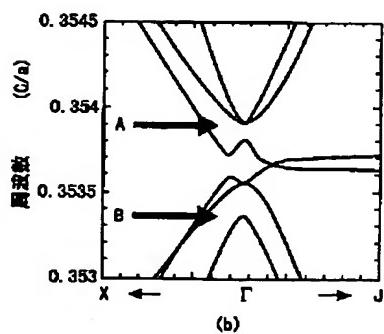
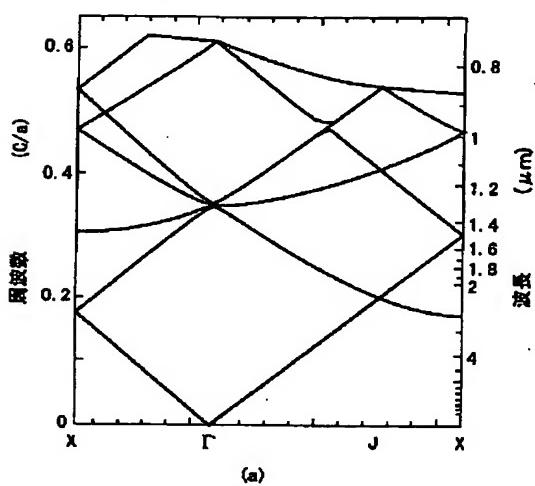
【図2】



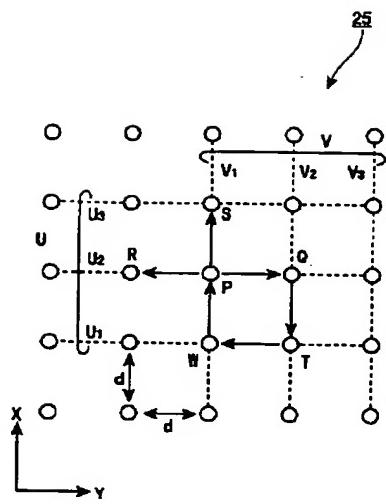
【図3】



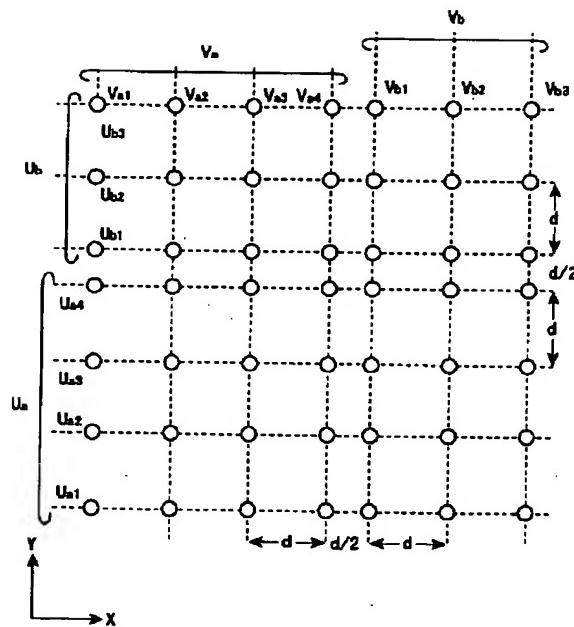
【図4】



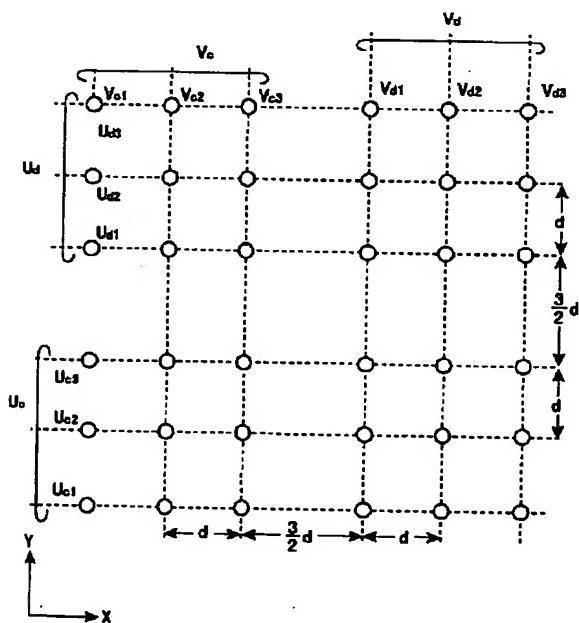
【図5】



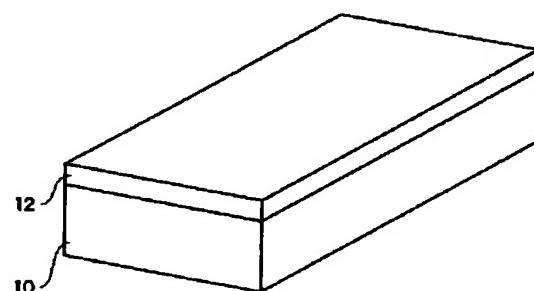
【図6】



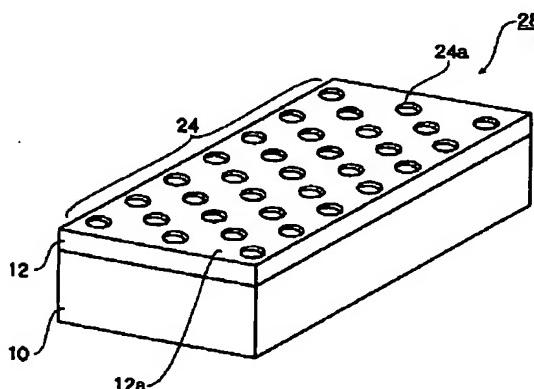
【図7】



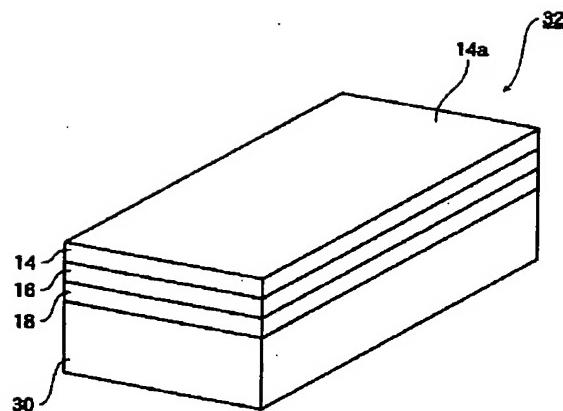
【図8】



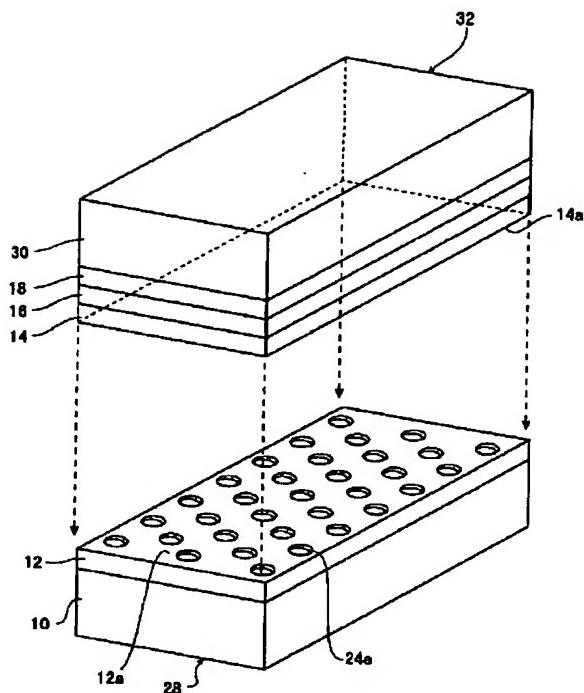
【図9】



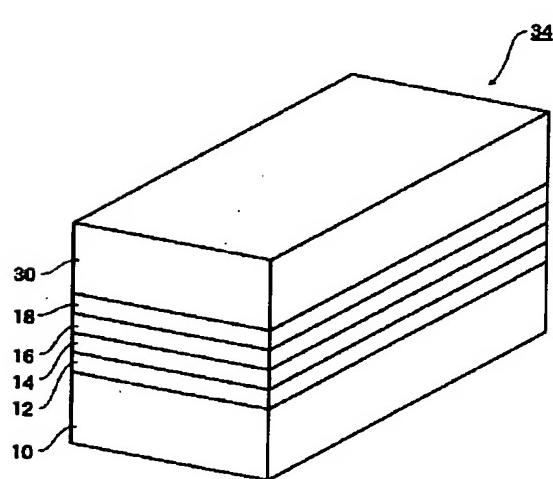
【図10】



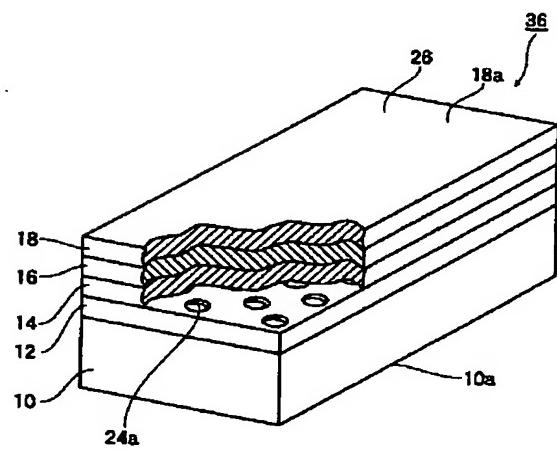
【図11】



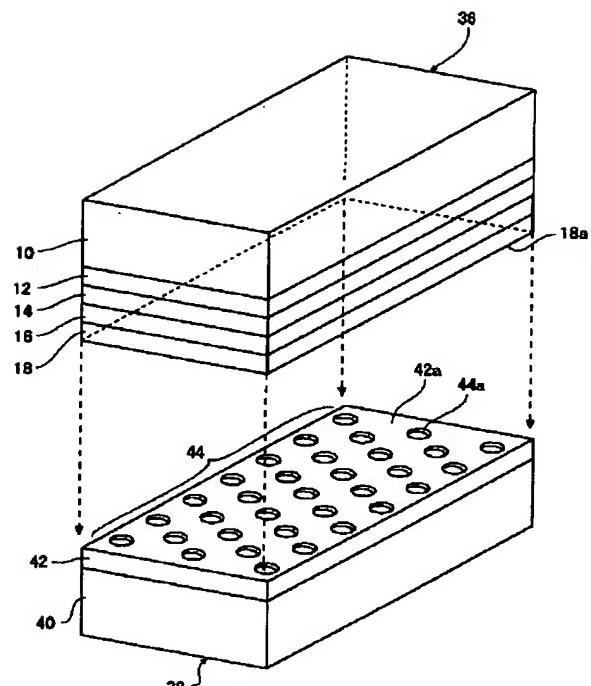
【図12】



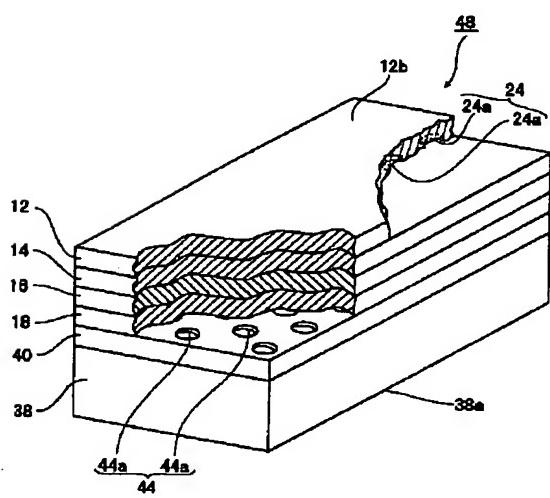
【図13】



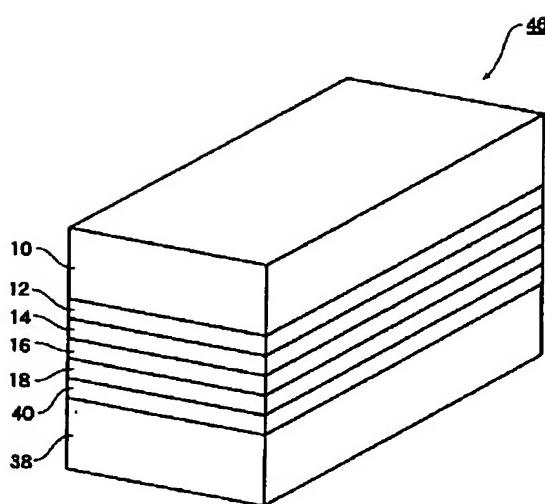
【図14】



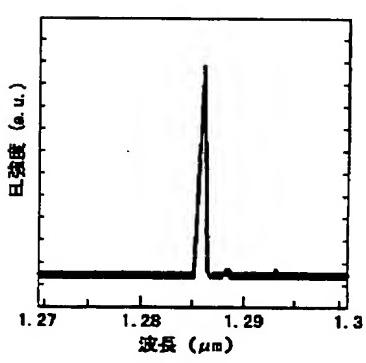
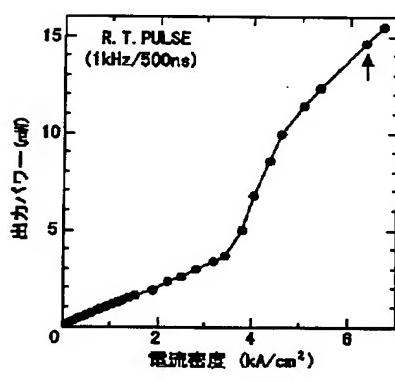
【図16】



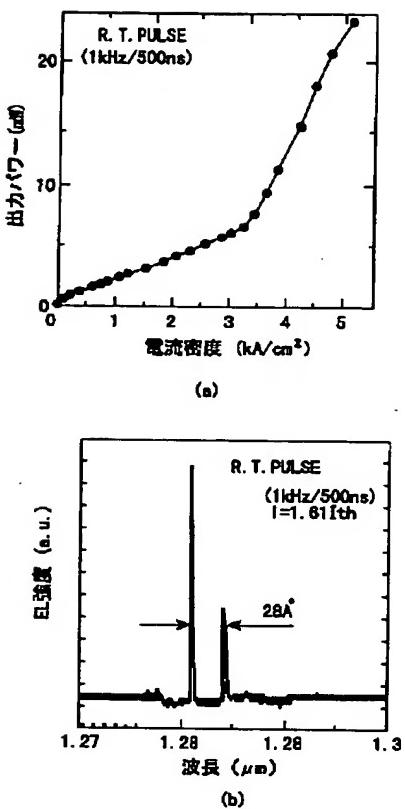
【図15】



【図17】



【図18】



フロントページの続き

(72)発明者 野田 進
京都府京都市左京区吉田本町 京都大学工
学研究科内

(72)発明者 佐々木 吾朗
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電
気工業株式会社横浜製作所内

(72)発明者 村田 道夫
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電
気工業株式会社横浜製作所内

F ターム(参考) 2H049 AA03 AA13 AA33 AA37 AA55
AA64
SF073 AA63 AA73 AA74 AA75 AA89
AB17 CA12 DA16 EA20

This Page is inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT OR DRAWING
- BLURED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- GRAY SCALE DOCUMENTS
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- REPERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.
As rescanning documents *will not* correct images
problems checked, please do not report the
problems to the IFW Image Problem Mailbox